

음식물쓰레기로부터 제조한 분체연료 연소특성

*손 현석¹⁾, 박 영성²⁾, 윤 종득³⁾, 이 호남⁴⁾, 이 승훈⁵⁾, **김 상국⁶⁾

A Study on Combustion Characteristics of Purverized Fuel Made from Food Waste

*Hyunsuk Son, Yungsung Park, Jongdeuk Yun, Honam Lee, Seunghoon Lee, Sanguk Kim

Key words : Food waste(음식물쓰레기), Purverized fuel(고형분체연료), Burner(버너), Heating value(발열량), Volatile matter(휘발성 물질)

Abstract : Three properties of food waste are water 80%, ash 3%, volatile matter 17%. When food waste goes through treatment process such as removal of foreign substances, removal of water as well as sodium, dryness, and pulverization, it transforms into 4,000Kcal/kg purverized fuel if moisture content is below 13%. Fuel ratio(fixed carbon/volatile matter) of purverized fuel is low compared with bituminuous coal. Ignition temperature measured by thermogravimetry analyzer is about 460°C. Combustion test of purverized fuel have been performed using energy recovery facility which include storage tank of dewatered cake, dryer, hammer mill, combuster including burner, boiler, flue gas treatment equipment. When 160-180 kg/hr of fuel is steadily supplied to burner for 3 hours, combueter temperature reaches about 1000°C and CO is 77-103ppm at 1.55 excess air ratio and SOx and Cl are under 2ppm and 1ppm, respectively. This experiment demonstrate that purverized fuel made from food waste could be an alternative clean energy for high oil price era

1. 서론

국내 생활쓰레기의 약 23%를 차지하고 있는 음식물쓰레기의 양은 2006년 말 기준으로 하루 평균 약 13,000ton이 배출되고 있다. 음식물쓰레기를 주로 배출하는 곳은 일반가정이 70%, 음식점과 농수산물유통시장 등이 30%를 차지하고 있다. 배출되는 음식물쓰레기의 53.1%는 수분의 함량이 높은 채소류이고 그다음은 육류와 어패류 순이다. 현재 음식물쓰레기 처리방안으로는 매립과 소각, 재활용등이 있는데 2차적인 환경문제를 야기하는 매립과 소각은 점차 줄어드는 추세인 반면 음식물쓰레기의 재활용은 그 중요성이 커져가고 있다. 재활용방법은 퇴비 및 사료 그리고 연료화이다. 퇴비는 염분을 포함한 품질관리, 사료는 에너지비용의 증가로 인하여 보급에 어려움을 겪고있다. 음식물쓰레기는 중금속등에 의하여 오염되고 알코올 가연성성분중 휘발분의 비율이 높아 적절한 처리공정을 거치면 청정연료로 전환할수 있다.

본 연구에서는 음식물쓰레기를 신·재생에너지로 활용하고자 음식물쓰레기로부터 이물질제거, 탈수및 염분제거, 건조, 파쇄공정을 거쳐 분체연

료를 제조하고 발열량, 원소및 공업분석, 열중량 분석등 연료로서의 특성을 분석하였다. 또한 에너지회수설비에 적용하기 위하여 분체연료를 버너에서 연소시 연소특성과 이에 수반되는 온도분포, 배가스특성을 조사하였다.

-
- 1) 저자1의 소속 : 대전대학교
E-mail : blue6282@hanmail.net
Tel : (042)860-3659 Fax : (042)860-3134
 - 2) 저자2의 소속 : 대전대학교
E-mail : yspark@dju.ac.kr
Tel : (042)280-2536 Fax : (042)284-0109
 - 3) 저자3의 소속 : 씨앤지테크(주)
E-mail : cgtech328@empal.com
Tel : (031)434-4105 Fax : (031)434-4102
 - 4) 저자4의 소속 : 씨앤지테크(주)
E-mail : honmsunm@hanmail.net
Tel : (031)434-4105 Fax : (031)434-4102
 - 5) 저자5의 소속 : 이레농산(주)
E-mail : seungleeok@freechal.com
Tel : (031)474-5252 Fax : (031)471-7118
 - 6) 저자6의 소속 : 한국에너지기술연구원
E-mail : sgkim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3632 Fax : (042)860-3134

2. 실험장치 및 방법

본 실험은 음식물쓰레기를 이용한 분체연료 제조와 제조된 연료의 연소특성을 조사하기 위하여 연료소비량이 25[Kg/hr]의 lab scale 소형연소장치와 200[Kg/hr] pilot scale 연소장치를 제작하여 실험하였다.

2.1 분체연료 제조

음식물쓰레기의 삼성분은 계절 및 지역에 따라 다소 차이가 있으며 약 수분 80%, 회분 3%, 휘발분 17%이다. 분체연료는 수도권지역에서 수거한 음식물쓰레기를 원료로하였다. 분체연료 제조공정은 음식물쓰레기로부터 비닐 등 이물질 제거하고 압축탈수과정에서 탈수와 동시에 상당량의 염분이 제거되며 탈리액 중 고형분은 테칸타를 이용하여 분리하여 탈수케이크와 함께 건조한다. 마지막으로 파쇄 과정을 거쳐 적정입도로 분체연료를 제조한다. Fig. 1은 분체연료의 제조공정을 나타낸 공정도이다.

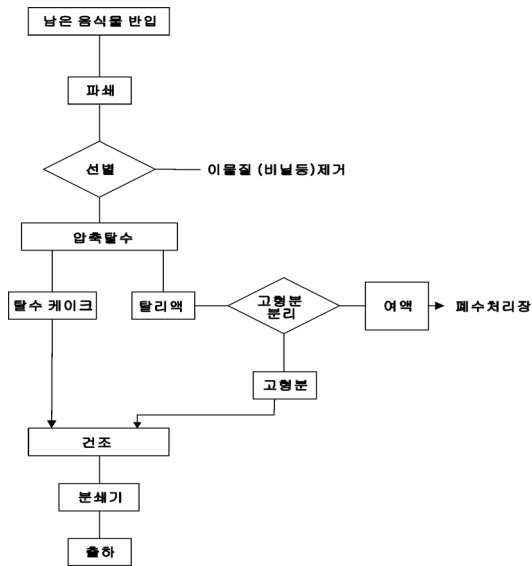


Fig. 1 분체연료 제조공정도

2.2 분체연료 분석

음식물쓰레기로 제조한 분체연료의 원소분석 결과는 Table. 1에 나타내었으며 건조시료기준이다. 분석에 사용한 기기는 TruSpecCHN Elemental Analyzer(LECO)와 SC-432DR Sulfur Analyzer(LECO)이다.

Table. 1 분체연료의 원소분석(%)

시료	성분	탄소	수소	질소	산소	유황분
시료 1		46.4	5.64	3.06	30.77	0.15
시료 2		45.9	6.49	2.97	33.19	0.25
시료 3		48.7	6.43	5.17		0.22

제조한 분체연료의 공업분석 및 발열량 데이터는 Table 2와 같으며 도착시료기준이다. 발열량은 저위발열량이며 시료3의 경우만 고위발열량이다. 대표적인 고형연료인 석탄의 경우 연료비(고정탄소/휘발분)의 비가 석탄화정도를 나타내는 지수이며 무연탄의 경우 탄화도가 제일 높아 연료비가 12이상이며 유연탄은 4-7이다. 분체연료는 0.2이하이며 이는 휘발분이 상대적으로 많아 착화가 잘되고 연소후 생성되는 화(탄소+회분)의 양이 작아 로내 비교적 적은 체류시간이 요구된다.

Table. 2 분체연료의 공업분석 및 발열량

시료	성분	수분	휘발분	회분	고정탄소	발열량 (Kcal/kg)
시료 1		6.24	69.17	13.44	11.15	3,960
시료 2		10.73	68.72	11.2	9.35	4,010
시료 3		11.26	65.72	11.73	11.29	*4,340

저위발열량은 약 4,000[Kcal/kg]으로 여러 가지 물질이 혼합되지 않은 단일성분이며 연소시 에너지 회수시설에서 요구하는 3,000[Kcal/kg]을 만족한다.

분체연료를 연소시 중요한 물성중 하나는 휘발 및 착화온도이다. 이를 위하여 열중량분석을 하였다. 질소분위기하에서 승온속도를 10°C/min로 한 실험결과는 Fig. 2와 같으며 carrier gas를 공기로 하고 승온속도를 10°C/min로하여 실험한 결과는 Fig. 3과 같다. 아래 그림으로부터 분말연료의 휘발온도는 200-400°C 온도구간이며 착화온도는 약 460°C인 것을 알 수 있다.

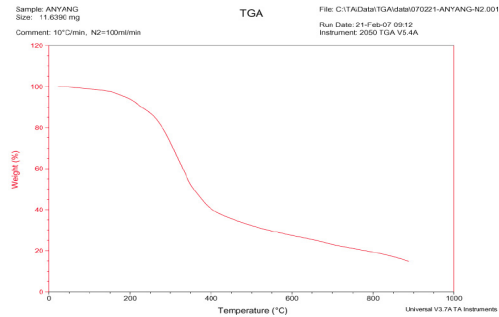


Fig. 2 열중량분석-질소

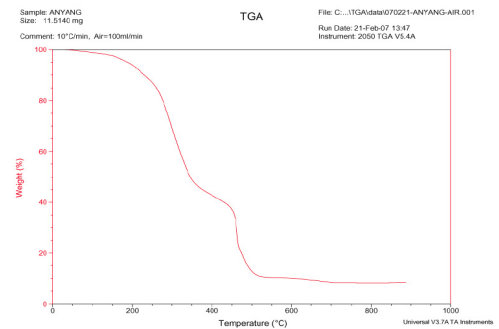


Fig. 3 열중량분석-산소

2.3 Lap scale 연소장치

Fig. 4는 lab scale 연소장치 공정도를 나타내며 분체연료의 공급량 25 kg/hr 기준으로 제작하였다. 연소로내 평균온도 900°C이라 할 때 상기 연소로 내부용적이 0.456 m³이므로 평균 가스체류시간은 2.64초로 충분한 연소공간을 제공하였다. 분체연료 연소용 전용버너를 제작하여 설치하였으며 정량의 분체연료를 feeder에서 공급이 가능하고 연소로 하부 상단에 물 열교환기를 설치하여 가스온도를 낮춤으로 가스분석을 용이하게 하였다. 분체연료를 이용한 연소실험은 분체연료를 저장호파에 넣고 LPG가스를 버너에 공급하여 연소로를 예열한다. 예열 후 버너에 공급하는 LPG공급을 차단하고 착화버너만 가동시킨 상태에서 feeder를 작동시켜 분체연료를 버너에 공급하여 화염을 형성한다. 버너에 공급되는 연소용공기는 분체연료와 함께 공급되는 1차공기와 연소공기인 2차 및 3차공기로 구성되며 2차공기는 선단에 디퓨저가 설치되어 회전하여 화염길이를 짧게 하지만 3차공기는 그대로 토출되기 때문에 공기비를 조절하여 적절한 화염모양을 형성하였다.

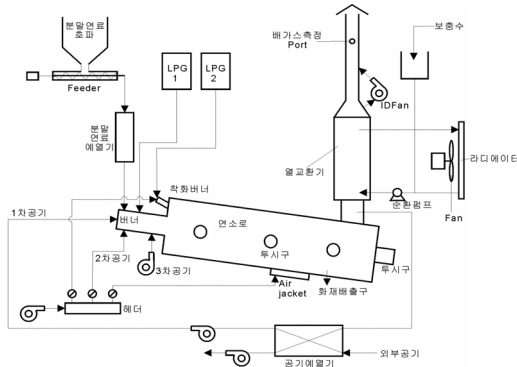


Fig. 5 Lab scale 연소장치 공정도

2.4 pilot scale 연소장치

pilot scale 연소장치 설비와 센서를 나타낸 계통도를 Fig. 5에 나타내었다. 기존의 lab scale의 실험장치를 모체로 full 부하시 고품분말 연료를 200 kg/hr 연소하여 보일러에서 스팀을 1 톤/시간 발생할 수 있는 규모로 설계, 제작하였으며 구성은 원료저장조, 스크류이동장치, 간접(스팀) 건조기, 스크류이동장치, 파쇄기(해머밀), 스크류이동장치, 분체연료저장조, 스크류이동장치, 분체연료 정량 스크류피더, 버너, 연소로, SNCR, 덕트, 보일러, 백필터, 열교환기, 스택이다. 보조장치는 공기압축기 및 cooler, 전기제어반, 각종 유량계 및 온도센서, Fan, 가스분석기, 보일러 급수용 물공급시스템이다. 보일러에서의 파울링을 저감하기 위하여 연소배가스 일부를 연소로와 보일러 사이에 재순환하여 보일러 입구온도를 750°C로 낮추도록 설계하였다.

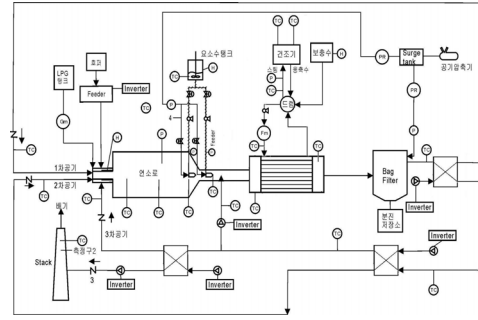


Fig. 5 pilot scale 연소장치 공정도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Lab scale 연소로 실험

Fig. 6은 lab scale의 소형연소로에 25kg/hr의 연료를 투입하여 4시간동안 온도분포를 연속적으로 측정된 결과이다. 일정량의 분체연료를 계속 연소하여 평형상태에 도달하기 전까지 승온이 되고있는 상태이다. 버너가 위치하는 연소로 전면보다 연소로 후면의 온도가 높았으며 굴뚝에서의 온도는 열교환기에서의 냉각으로 온도가 떨어졌다. 1차공기를 예열하고자 배가스일부와 열교환기에서 열교환하였으며 이때 고온 Fan이 과열되는 것을 방지하기 위하여 상,하 limit를 설정하였기 때문에 배가스열교환기온도가 툽나뉘는 현상을 나타내었다. 연소배가스 분석결과를 Table 3과 같다.

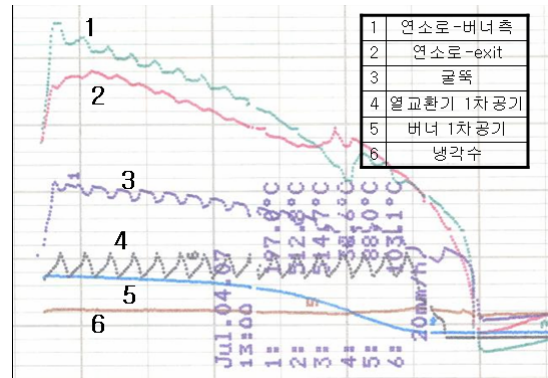


Fig. 6 Lab scale 연소실험 온도분포

버너 운전조건(과잉공기비)에 따라 CO농도 변화가 심하였으며 분체연료중 포함되어 있는 염분이 연소배가스중 염소가스농도에 미치는 영향은 염분이 공유결합을 하고있어 화학적으로 매우 안정한 상태로 존재하기 때문에 염분이 녹으면서 발생하는 중기압이 낮아 염소가스 농도가 낮게 측정된 것으로 사료된다. Lab scale 연소실험을 통하여 도출된 자료와 전산유체역학을 이용한 유동해석을 하여 pilot scale용 버너를 설계하였다.

Table. 3 Lab scale 연소실험 배가스 조성

먼지 (mg/sm ³)	CO (ppm)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	Cl (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
1657 (12)	454 (12)	122 (12)	0	0.05	8.06	10.8

3.2 Pilot scale 연소로 실험

분체연료를 200 kg/hr 연소할 수 있도록 제작한 pilot scale 실험설비에서 연속적으로 측정된 온도의 분포는 Fig. 7과 같다.

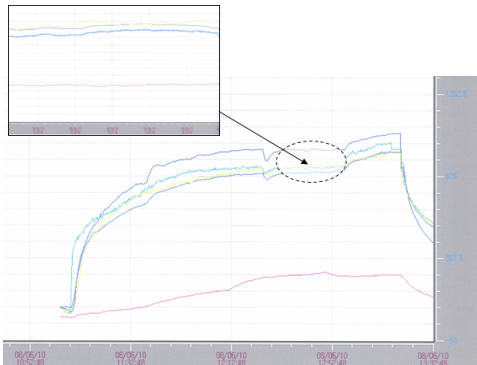


Fig. 7 pilot scale 연소실험 온도분포

상부 3개의 곡선은 연소로내 온도이며 약 1,000°C를 나타내고 있고 하부 1개의 온도는 연소로와 보일러사이 덕트 벽체 온도이다. 연소로내 온도 분포별 배가스분석 결과는 Table. 4와 같다. 연료공급량 180 kg/hr 연료투입조건에서 과잉공기비 1.55일때 CO는 77~103ppm으로 비교적 양호한 연소특성을 나타내었고 산소12%로 환산한 CO및 NOx농도는 가스상물질 배출허용기준(12% O₂ 기준)인 200ppm, 150ppm을 만족하고 있다. 버너연소사진은 Fig.8과 Fig. 9와 같다. Fig.8은 버너에서 분출되는 화염을 측면에서 촬영한 사진이며 Fig. 9는 연소로 후단에서 촬영한 사진으로 화염에 의하여 밝은 빛이 형성되는 것을 볼수있다.



Fig. 8 버너연소사진 Fig. 9 연소로후단에서의 연소사진

Table. 4 pilot scale 연소실험 배가스 조성

로내온도 °C	O ₂	CO ₂	CO	NOx	SO ₂	산소 12%		과잉 공기비	투입량 [kg/hr]
	%	%	ppm	ppm	ppm	CO	NOx		
668-698	15.5	5.2	91	64	0	151	105	3.56	160
777-856	8.8	11.26	178	129	0	131	95	1.84	170
921-1000	7.8	12.26	217	90	0	148	61	1.53	180
985-1059	8.0	12.0	77	89	0	53	61	1.55	180
984-1050	8.1	11.92	103	91	2	72	64	1.56	180

4. 결론

본 연구에서는 음식물쓰레기를 이용한 분체연료제조와 규모가 다른 연소장치를 이용하여 연소특성을 관찰하고, 분체연료의 특성분석을 통하여 연료로써의 조건을 검토하였다. 저위발열량 약 4,000 Kcal/kg, 함유율이 13%이하, 평균입도는 약 30mesh인 분체연료를 버너에서 연소실험 결과 안정된 연소가 이루어졌으며 실험결과 약 1,000°C 온도구간에서, 과잉공기비 1.55에서 CO는 77-103 ppm이었고 SOx, NOx, 염소농도가 가스상물질 배출허용기준치를 만족하며 고유가 시대에 새로운 청정에너지로 사용될 수 있음을 보여주었다.

후 기

본 연구는 신.재생에너지센터에서 지원하는 신.재생에너지기술개발사업으로 수행되었으며, 이에 심심한 감사를 드립니다.

References

- [1] 김상현, 권혁제, 김혁필, 송시홍, 이익형, 2004, "산업용 보일러에 적용된 저 NOx 미분탄버너의 연소특성 평가", 대한기계학회 추계학술대회 논문집
- [2] 권효정, 2004, "음식물쓰레기의 효율적 관리를 위한 물리적 특성및 처리", 부산대학교 환경대학원 석사학위 논문